

Höhere Zugsfrequenzen – höherer Lärmpegel?



DI Andreas BADER
SAE FWT
Team Oberbau

Günter DINHOBL, Dr
AM SP NE Technik&Anlagen
Fachstrategien Lärm

„Wir leben in einer komplexen Welt, und einfache Lösungen sind leider die unwahrscheinlichsten.“

*Peter Maurer, IKRK-Präsident 2012-2022
(NZZ, 12. April 2023)*



The figure illustrates the mechanical model of a vehicle suspension system, divided into two main parts: a schematic representation and a detailed mechanical model.

Schematic Representation (Top):

- Secondary suspension:** This section is represented by a box containing a lateral damper and a lateral stiffness of air spring. It is connected to the primary suspension via air springs.
- Primary suspension:** This section is represented by a box containing axle springs and axle dampers. It is connected to the secondary suspension via air springs.
- Lateral stiffness of axle box:** This is indicated by a vertical dashed line passing through the center of the primary suspension.

Detailed Mechanical Model (Bottom):

- The model shows the vehicle body, bogies, and wheels.
- Key parameters labeled include:
 - G_{sp} : Spring stiffness of the secondary suspension.
 - K_{sp} : Damping coefficient of the secondary suspension.
 - K_{ax} : Lateral stiffness of the axle box.
 - G_{ax} : Spring stiffness of the primary suspension.
 - K_{ax} : Damping coefficient of the primary suspension.
 - K_w : Wheel stiffness.
 - G_w : Wheel damping.
 - K_r : Roll stiffness.
 - G_r : Roll damping.
- Displacements and angles are labeled: y_u (vertical displacement of the vehicle body), y_b (vertical displacement of the bogie), y_w (vertical displacement of the wheel), ϕ (roll angle), and θ (pitch angle).

TLP gelb (Adressatenkreis)

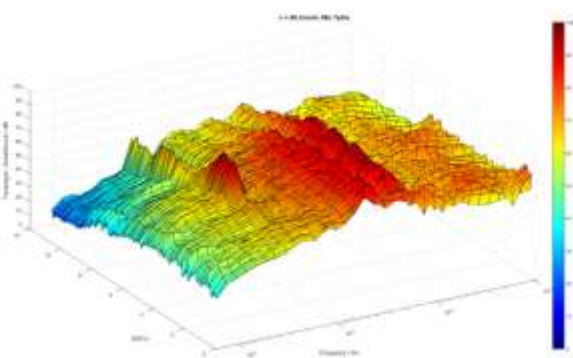
- 1. Einleitung** (Dinhobl)
- 2. Schallemissionen und Lärmkartierung** (Dinhobl)
- 3. Parameterstudie** (Dinhobl)
- 4. Akustische Optimierung der Schienenzwischenlagen** (Bader)

- 1. Einleitung** (Dinhobl)
- 2. Schallemissionen und Lärmkartierung** (Dinhobl)
- 3. Parameterstudie** (Dinhobl)
- 4. Akustische Optimierung der Schienenzwischenlagen** (Bader)

Vom Schall zum ‚Lärm‘

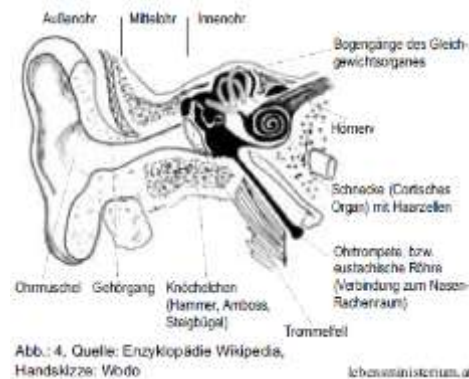
Lärm ist „unerwünschter, störender oder belästigender Schall“
(ÖNORM S 5004)

1. Schallereignis



Quelle: TU Wien, 2015

Wirkung auf Sinnesorgane



Quelle: Handbuch Umgebungslärm, 2009

Wahrnehmung



Lärm kann krank machen

Quelle: lebensministerium.at

2. Wirkung des Schalls auf die Sinnesorgane – quasi die **Umwandlung der Druckschwankungen in Nervensignale** (*frequenzabh. – i.d.R. 20-20.000Hz*)
3. darauf aufbauend die eigentliche Wahrnehmung des Schallereignisses – die **Umwandlung des Nervensignals in eine Empfindung** mit ihren zahlreichen Dimensionen wie beispielsweise Erfahrung, Erinnerung, Empfindlichkeit, Gefühl etc.

Einleitung

Schalldruckpegel Schallquelle

.....

40 dB (A) Kühlschrank

50 dB (A) Ruhiger Bach oder Fluss,
leises Gespräch

60 dB (A) normales Gespräch

70 dB (A) lautes Gespräch

.....

80 dB(A), 8h Auslösewert, Gehörschutz
zur Verfügung gestellt

→ [VOLV](#)

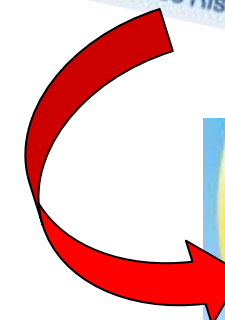
85 dB(A), 8h Expositionsgrenzwert,
Gehörschutz zu verwenden

**mit: 10dB Differenz:
halbe / doppelte Lautstärke (Lautheit)**

z.B. Bürgerinitiativen:

Schon bei Einzelschallereignissen von tagsüber mehr als 55 dB(A) und nachts mehr als 45 dB(A) haben Menschen:

- » Ein doppelt so hohes Risiko, an **Bluthochdruck** zu erkranken – bei offenem Fenster im Schlafzimmer sogar ein **sechsfach** erhöhtes Risiko
- » Ein signifikant erhöhtes **Herzinfarkt- und Schlaganfallrisiko**
- » Eine signifikant erhöhte **Asthma-Anfälligkeit**
- » Ein signifikant erhöhtes Risiko einer **Schilddrüsenerkrankung**
- » Eine merklich höhere Anfälligkeit, an **Migräne** zu erkranken
- » Ein erhöhtes Risiko steigender **Blutfettwerte**
- » Ein erhöhtes Risiko für **Magen- u. Darmerkrankungen**



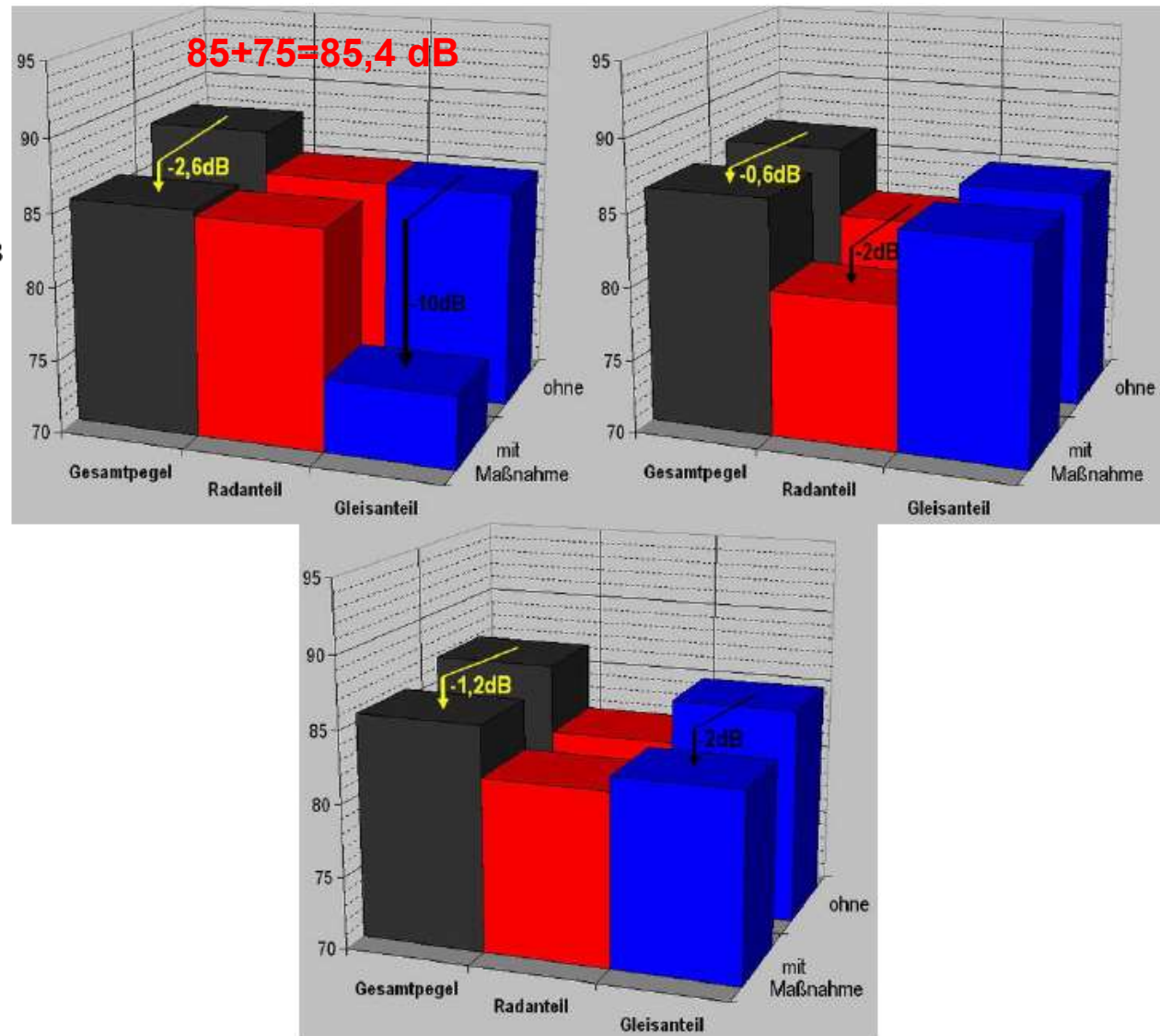
Einleitung

„Fluch der Akustik“

Lärm-Rechnungen:

$$L_{\Sigma} = 10 \cdot \log_{10} \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \text{ dB}$$

$$85 + 85 \text{ dB} = 88 \text{ dB}$$



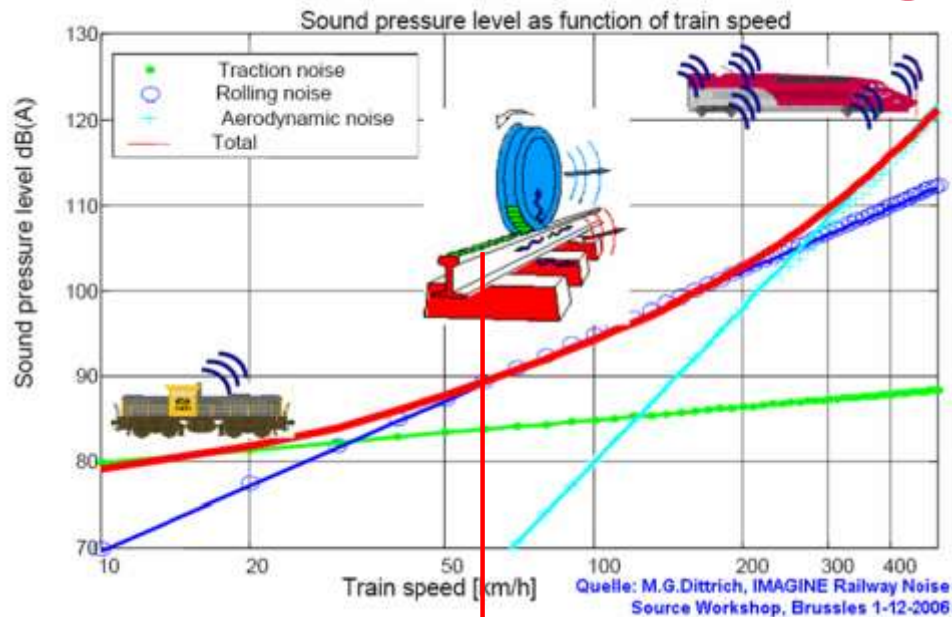
1. Einleitung (Dinhobl)

2. Schallemissionen und Lärmkartierung (Dinhobl)

3. Parameterstudie (Dinhobl)

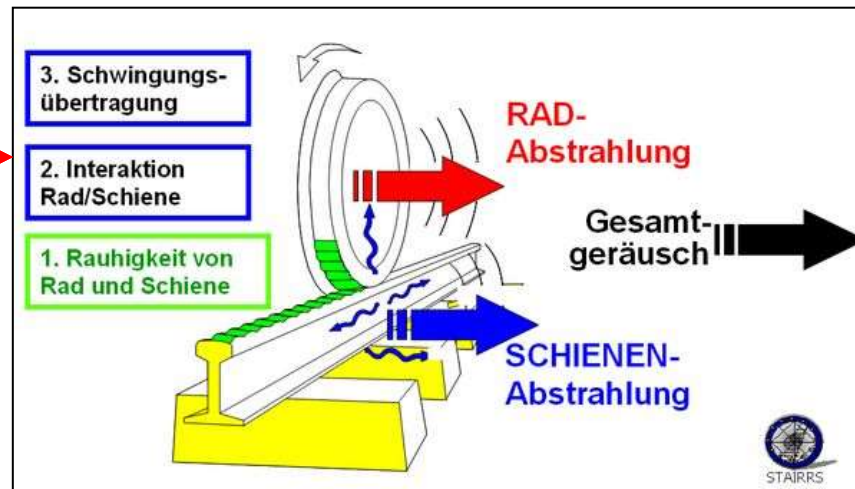
**4. Akustische Optimierung der
Schienenzwischenlagen** (Bader)

Schallemission: Rollgeräusch



Emission: an der Quelle

(Schalldruckpegel, am Normmesspunkt Schiene: 7,5m von Gleisachse, 1,2m über SoK – EN ISO 3095)

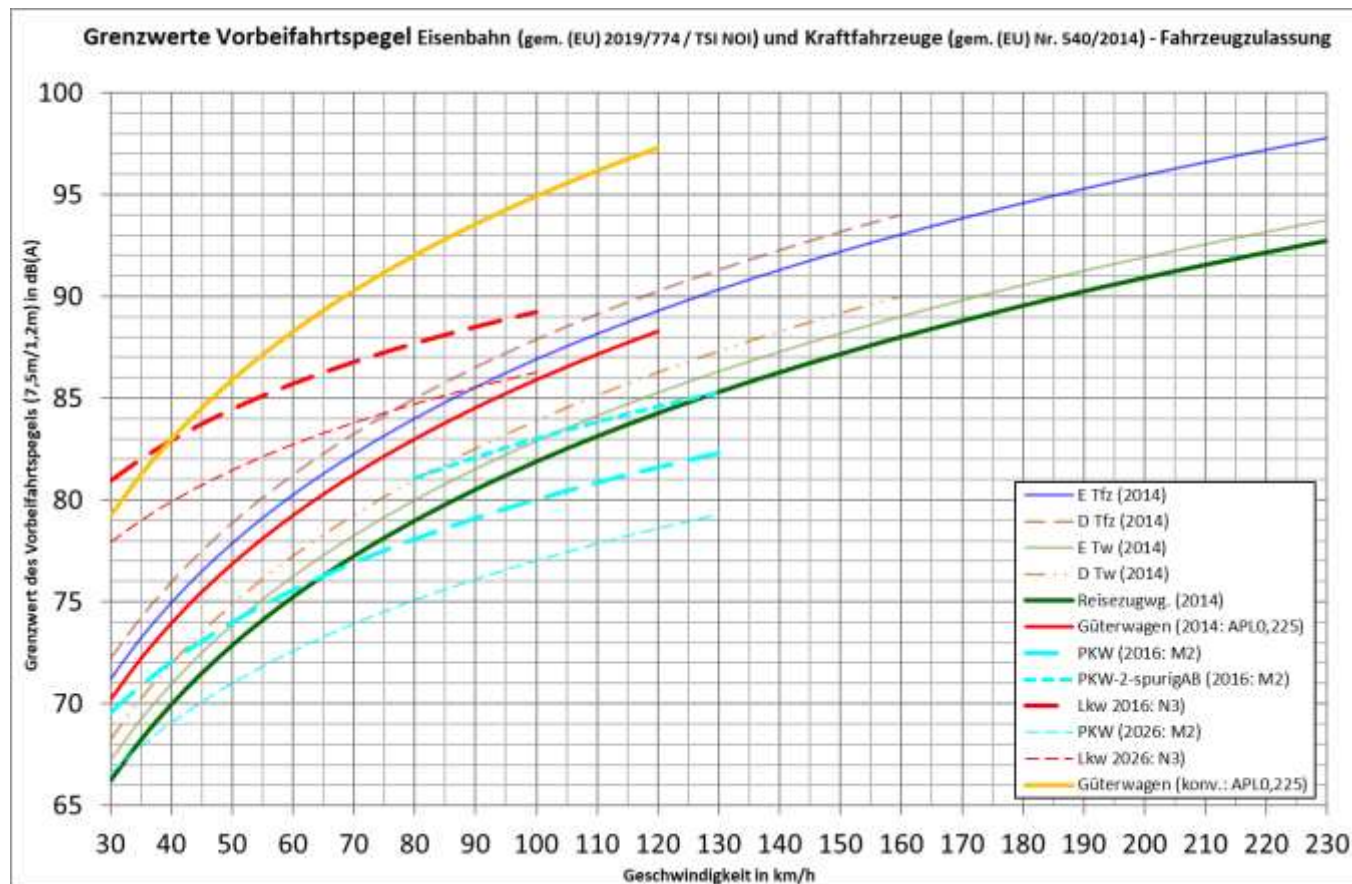


Schallausbreitung

Immission:

am Ohr / Anrainer / Haus etc.

Exkurs : Emissions-Grenzwerte im Vergleich

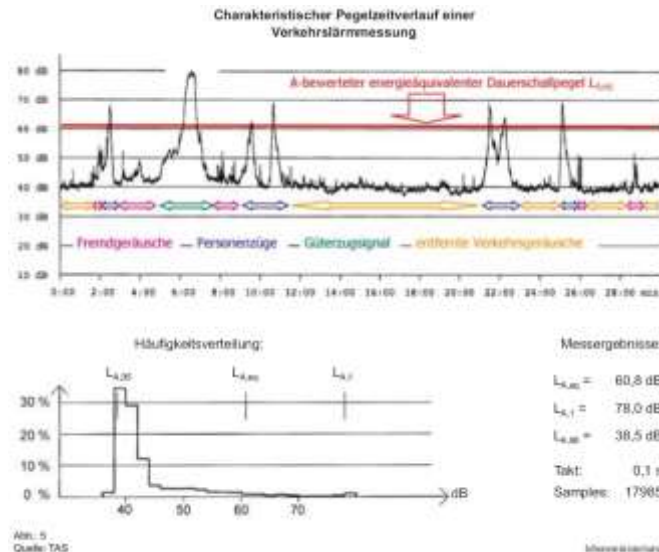


Richtwerte:

- Güterwagen 100km/h:
alt (vor 2014) – ab 2014: **-9dB**
- Güterwagen: 100→120km/h: **+2,5dB**
(100→80km/h: -3dB)
- Güterwagen 100km/h wie Reisezugwagen
135km/h
- Güterwagen 100km/h zu Reisezugwagen
160km/h: **+2dB**
- Güterwagen 100km/h zu Reisezugwagen
230km/h: **+7dB**
- Güterwagen 100km/h wie
Lkw (2016) 60km/h

Eisenbahn und Schallpegel: Energieäquivalenz

$$L_{pAeq,T} = 10 \lg \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) \text{ dB}$$



Lärmindizes lt. EU-Umgebungsärm-Richtlinie (2002/49/EG), für Kalenderjahr:

- L_{day} : Tag-Lärmindex (6-19h)
- $L_{evening}$: Abend-Lärmindex (19-22h)
- L_{night} : Nacht-Lärmindex (22-6h)
- L_{den} : Tag-Abend-Nachtindex (nicht vergleichbar mit L_{day} !)

$$L_{den} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(13 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 3 \times 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

Schwellenwerte für die Aktionsplanung gem. EU-Umgebungsärm-Richtlinie:

Schienenverkehrslärm L_{den} 70 dB und L_{night} 60 dB

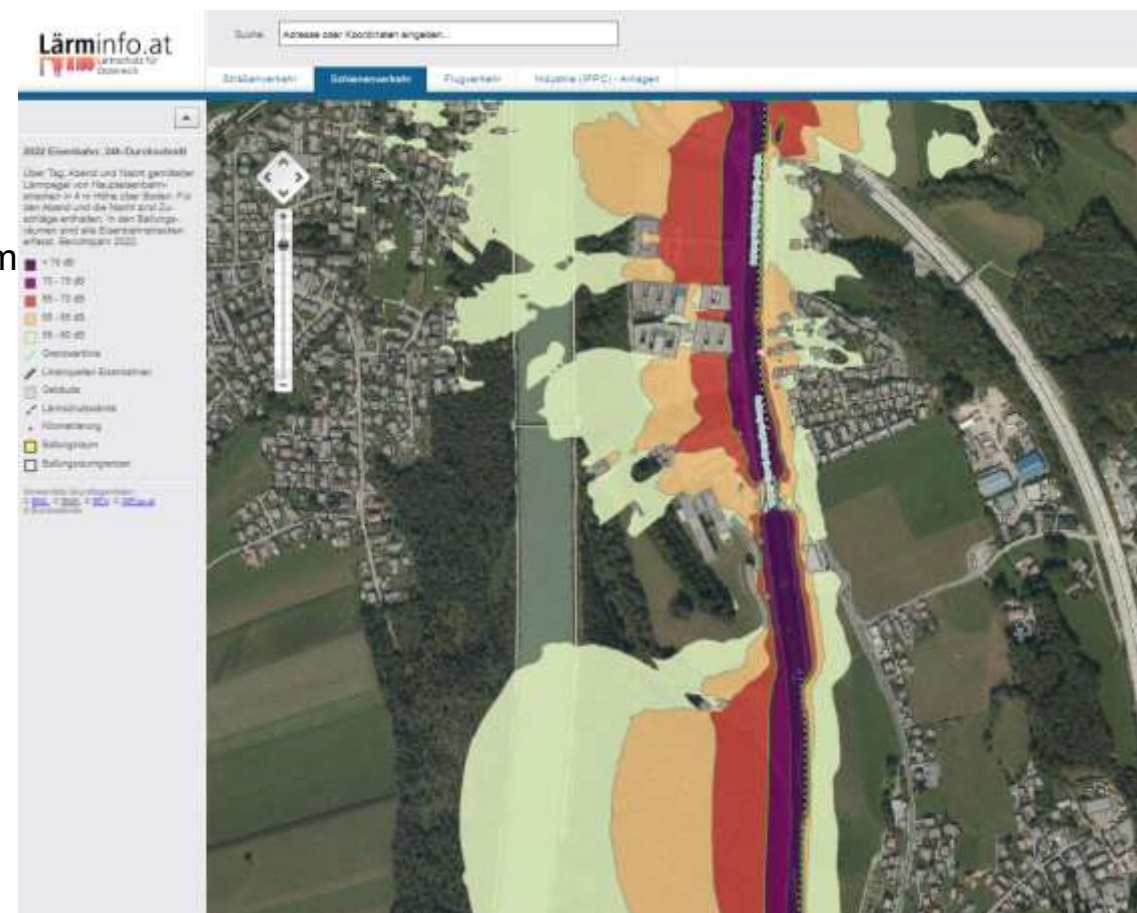
Schallimission: Lärmkartierung

Lärmkarten:

- Basis: EU-Umgebungslärm-Richtlinie (2002/49/EG)
- Nationale Umsetzung:
 - **RVE 04.01.02: BERECHNUNG VON SCHIENENVERKEHRSLÄRMEMISSIONEN**
 - **ÖAL 28: Berechnung der Schallausbreitung im Freien und Zuweisung von Lärmpegeln und Bewohnern zu Gebäuden**

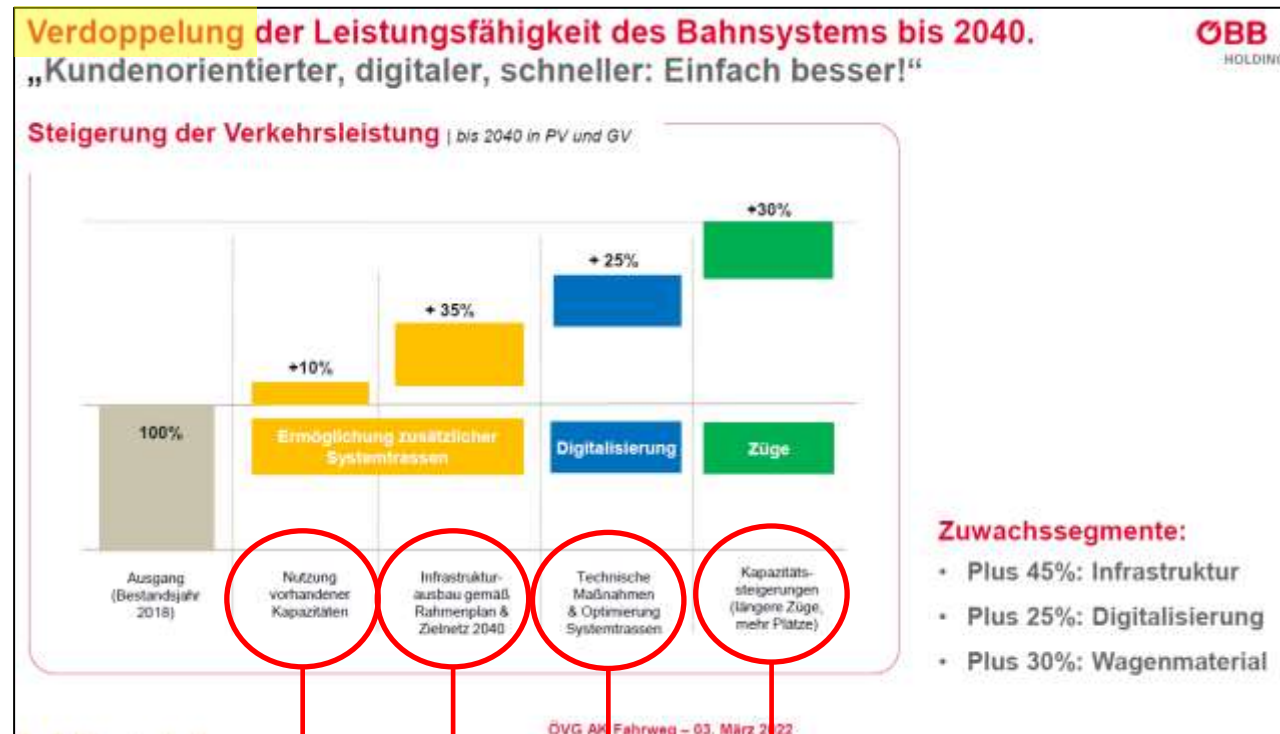
Parameter

- Fahrzeugklasse
- **Schienenrauheit (akustische!)**
- **Oberbau: Bauart, Zwischenlagensteifigkeit**
- Radrauheit, Radlast, Raddurchmesser
- Zugzahl
- Zuglänge (Anzahl Fahrzeuge / Wagen: Achsen)
- Zuggeschwindigkeit
- *Zusätzliche Koeffizienten: Stoßgeräusche, Bogengeräusche, aerodynamische Geräusche, Antriebsgeräusche*



- 1. Einleitung** (Dinhobl)
- 2. Schallemissionen und Lärmkartierung** (Dinhobl)
- 3. Parameterstudie** (Dinhobl)
- 4. Akustische Optimierung der Zwischenlagen** (Bader)

Zur Zukunft der Bahn



- Steigerung am Rollmaterial: Doppelstock oder länger
- Verringerung Zugfolgezeiten: mehr Zugfahrten möglich
- Neue Strecken / mehrgleisiger Ausbau
- Nutzung von Reserven – welche Reserven in Zukunft (2040)?

→ Auswirkung(en) auf Bahnlärm:

- Emission: *nein* (wenn Zulassungsgrenzwerte Fahrzeuge gleichbleibend) / *vielleicht ...*
- Immission: **JA !**

Wirkungen auf Lärm(kartierung)

Verdoppelung der Zugzahlen: +3dB – bei:

- gleicher Verkehrsmix-Zusammensetzung PV & GV
- gleich laute Fahrzeugen (TSI NOI)
- gleiche Geschwindigkeit(en)
- gleicher Zuglänge (Achsanzahl)
- gleiche Parameter Oberbau

Parameterstudie Bahnlärm2040+, beinhaltet:

- Sensitivitätsanalyse: welche Parameter wirken sich wie aus?
- Durchrechnen von Betriebs-Verkehrsmix-Szenarien
- Multivariate Darstellung
- anhand von 3 charakteristischen Beispielen:
 - mehrgleisige Hochleistungsstrecke mit Mischverkehr
 - mehrgleisige Strecke im urbanen Bereich
 - eingleisige Strecke mit Mischverkehr

→ Grundlage für weitere Maßnahmen – z.B. welche Bedeutung kommt den Parameter des Fahrweges zu?

→ Ergebnisse vsl. Ende 2023

Parameter			
- Fahrzeugklasse			
- Schienenrauheit (akustische!)			
- Oberbau: Bauart, Zwischenlagensteifigkeit			
- Radrauheit, Radlast, Raddurchmesser			
- Zugzahl			
- Zuglänge (Anzahl Fahrzeuge / Wagen: Achsen)			
- Zuggeschwindigkeit			
- Zusätzliche Koeffizienten: Stoßgeräusche, Bogengeräusche, aerodynamische Geräusche, Antriebsgeräusche			

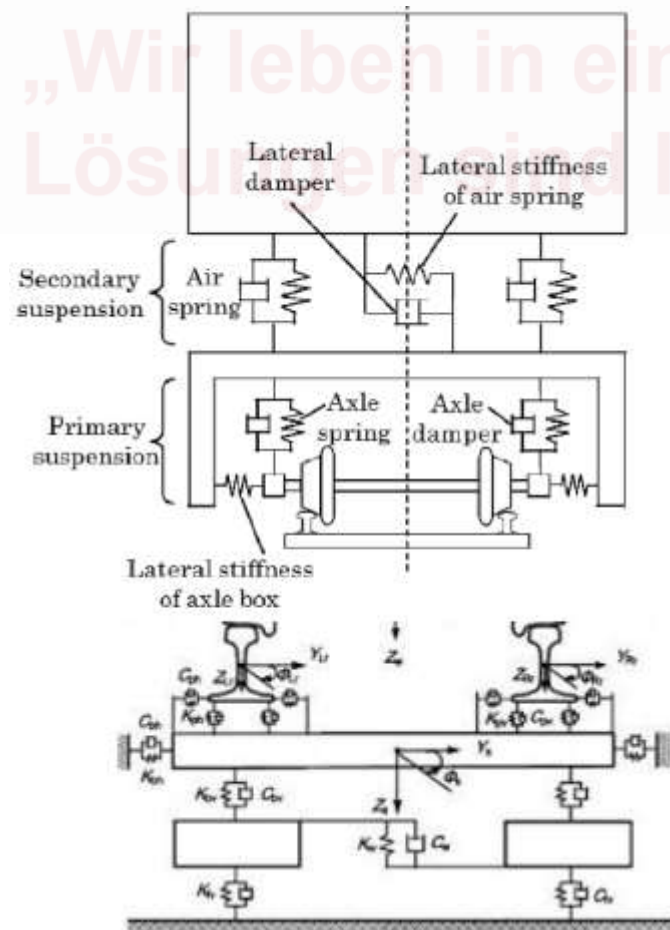
- 1. Einleitung** (Dinhobl)
- 2. Schallemissionen und Lärmkartierung** (Dinhobl)
- 3. Parameterstudie** (Dinhobl)
- 4. Akustische Optimierung der Schienenzwischenlagen** (Bader)

Akustische Optimierung der Schienenzwischenlagen

„Optimierung“

Ist-Zustand:

Modellprinzip Masse-Feder-Dämpfer-System



Gleis:

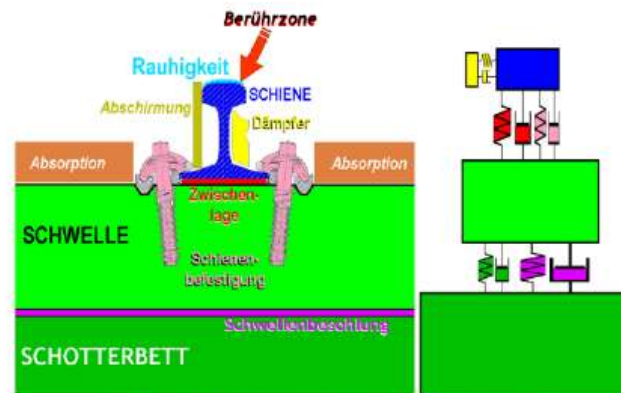


Abbildung 1-29: Akustisch relevante Gleiskomponenten

- Schiene
- Schienenzwischenlage
- Schienenbefestigung
- Schwelle
- Schwellenbesohlung
- Schotter
- Unterschottermatte

...

Akustische Optimierung

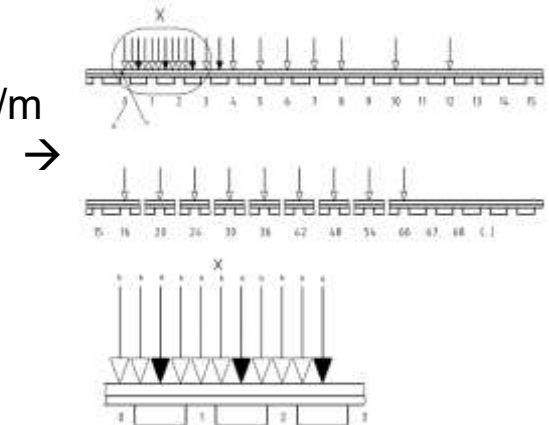
Ist-Zustand Schienenzwischenlage (ZW):

- Oberbautechnische Parameter

- statische Steifigkeit (c_{SP})
- dynamische Steifigkeit (c_{LFPf}): Frequenzbereich **5-20Hz** (Messnorm: EN 13146-9)
- *harte ZW (EVA) – weiche ZW (i.d.R. c_{SP} zwischen 60...200 kN/mm)*

- Akustische Gleisparameter

- Gleisabklingrate: Frequenzbereich mind. **100-5000Hz** & dB/m (Messnorm: EN 15461)
- (*akustische Schienenrauheit, Messnorm: EN 15610*)



- → von Relevanz: akustische Frequenzen !

- 2 Testeinbauten:

- **bei Dt. Wagram, Pottendorfer Linie**
- nach Gleisneulage mit vorheriger Untergrundsanierung
- Schotteroberbau, Schiene: 60E1, Schwellen: Beton, besohlt (zur Schotterschonung, SLB3007)

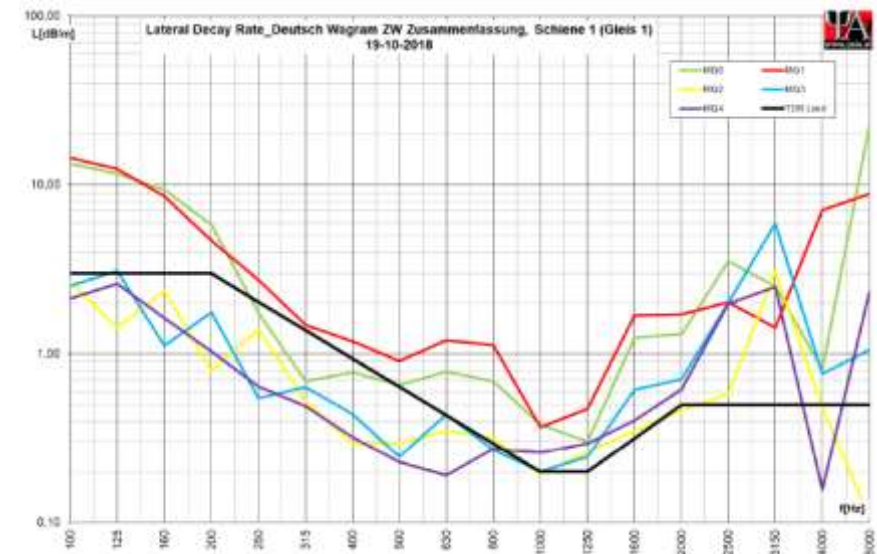
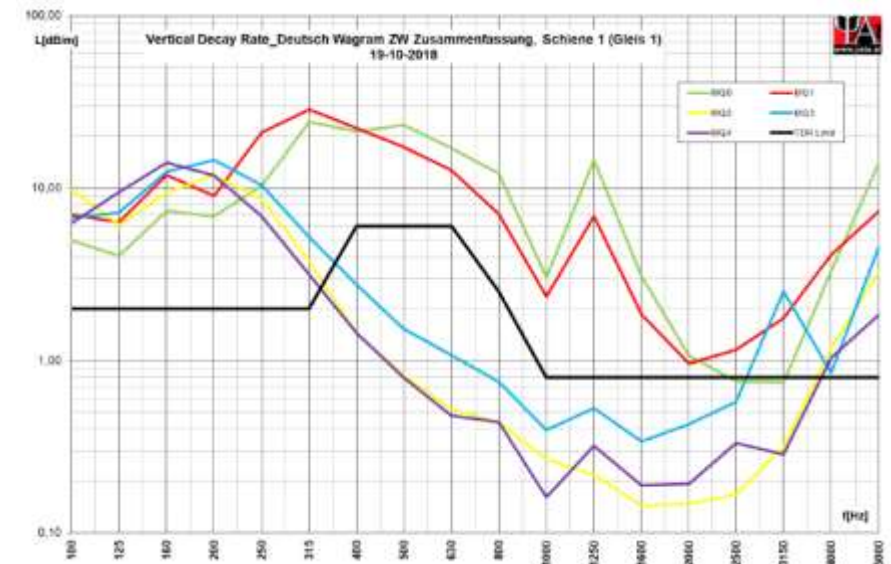
Akustische Optimierung der Schienenzwischenlagen

Teststeinbau

- **Dt. Wagram (2018)**
 - 5 Messquerschnitte, je 200m Länge
 - davon 2 Abschnitte mit 2 Standard-ZW
 - Gummi- (MQ0, 1, 3) und Kunststoffprodukte (MQ 2, 4)
 - mit stat. Steifigkeiten: 60 (MQ2, 4) / 85 (MQ3) / 100 (MQ1) / 150 (MQ0)
 - 3 Hersteller
 - 2 neue, akustisch verbesserte Produkte

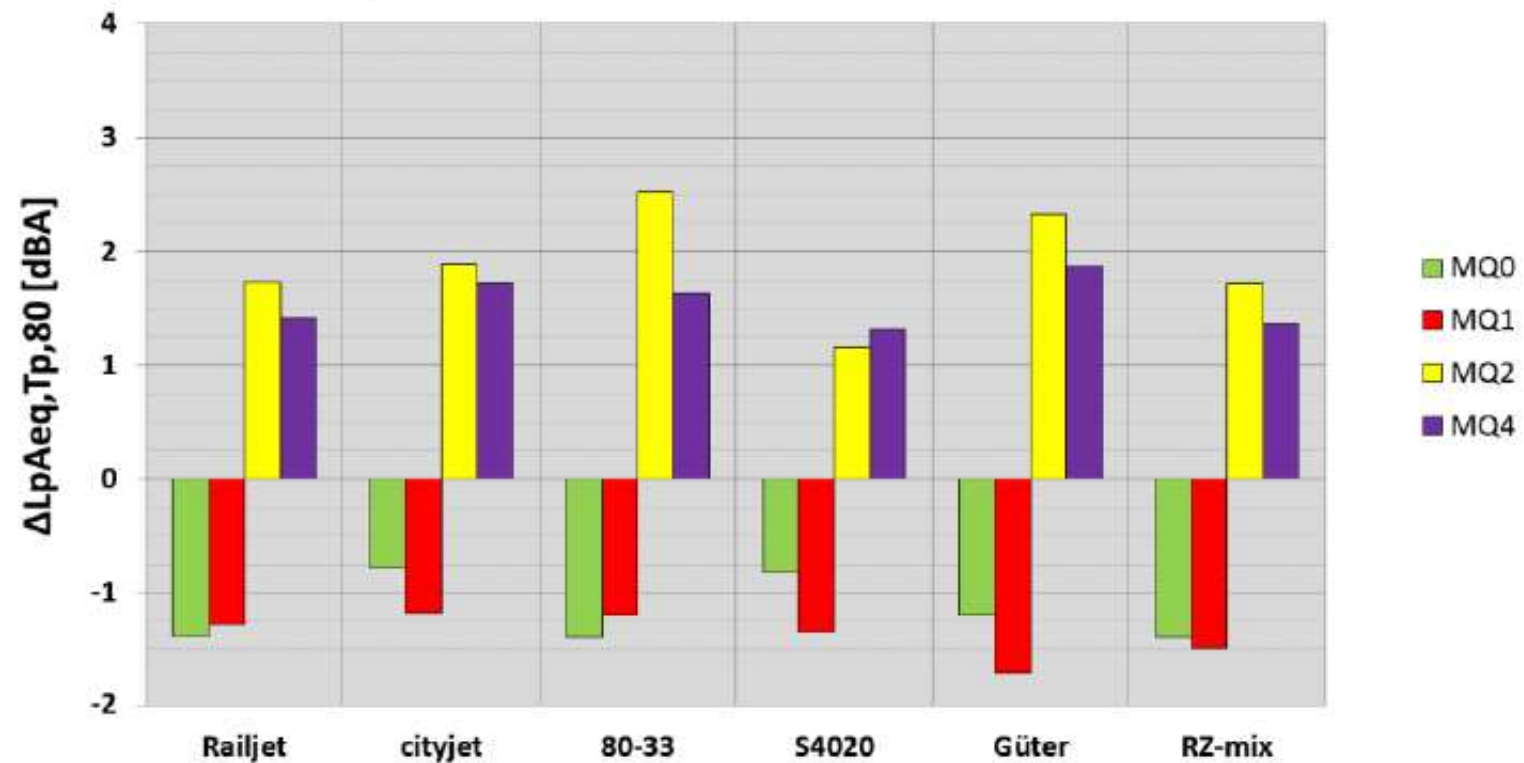


Dinhobl / ÖBB-Infra



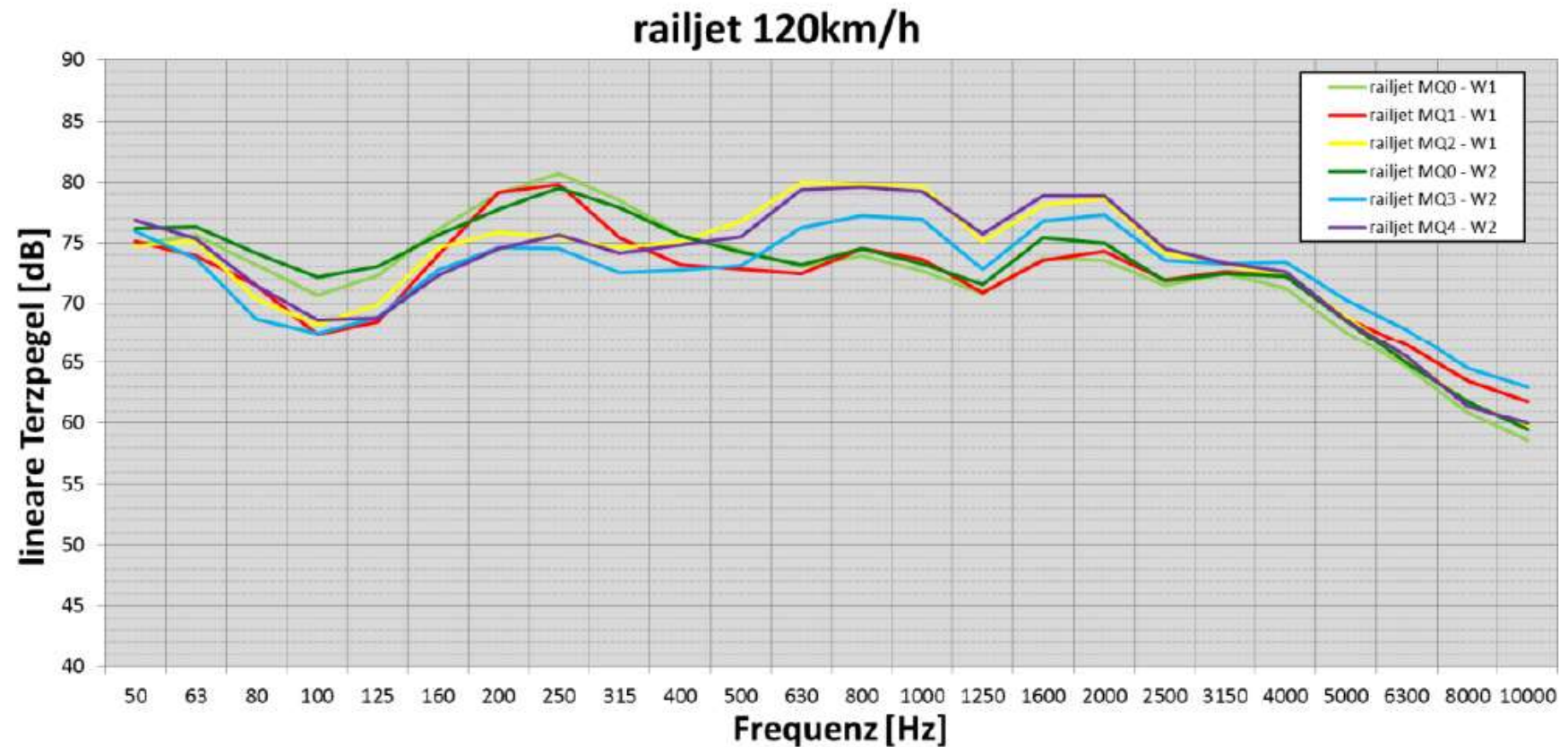
Ergebnisse

- **Dt. Wagram (2018)**
 - Akustikmessungen: Dauer 2 Wochen mit je 250-300 Zugvorbeifahrten
 - Zug-Vorbeifahrtspegel $LpAeq,Tp,80$
 - Ergebnis: **Vergleich $LpAeq,Tp,80$ Differenz mit MQ3 (Standard-ZW)**



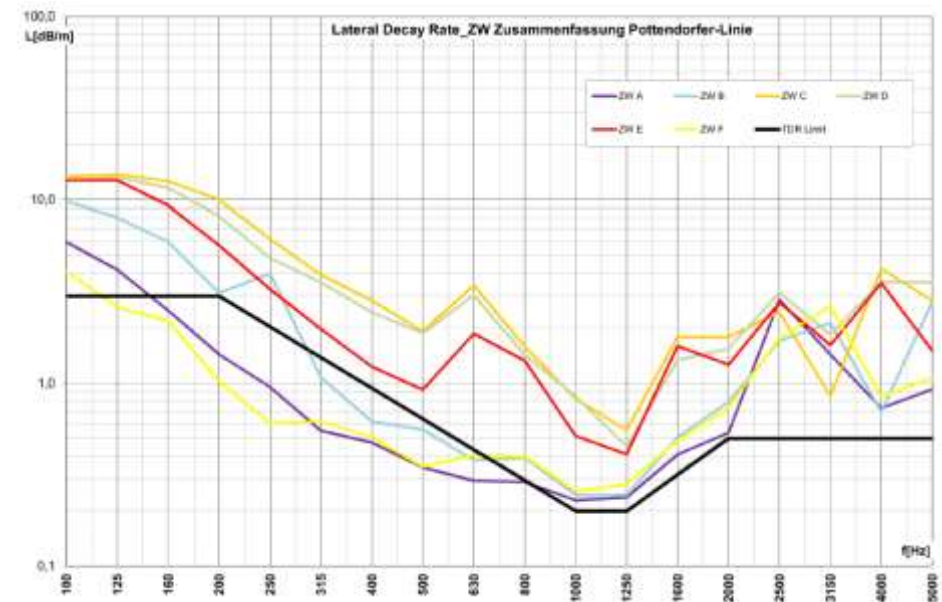
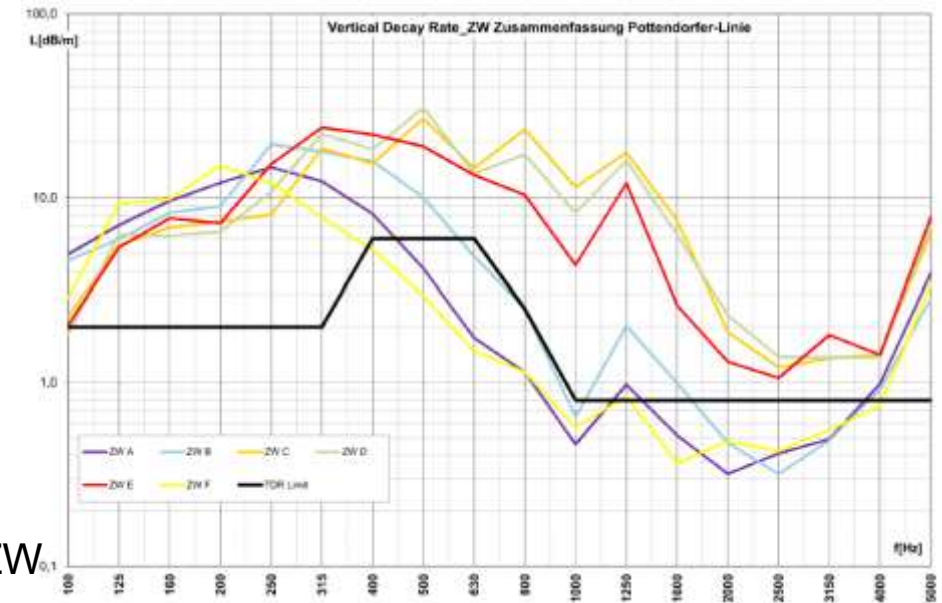
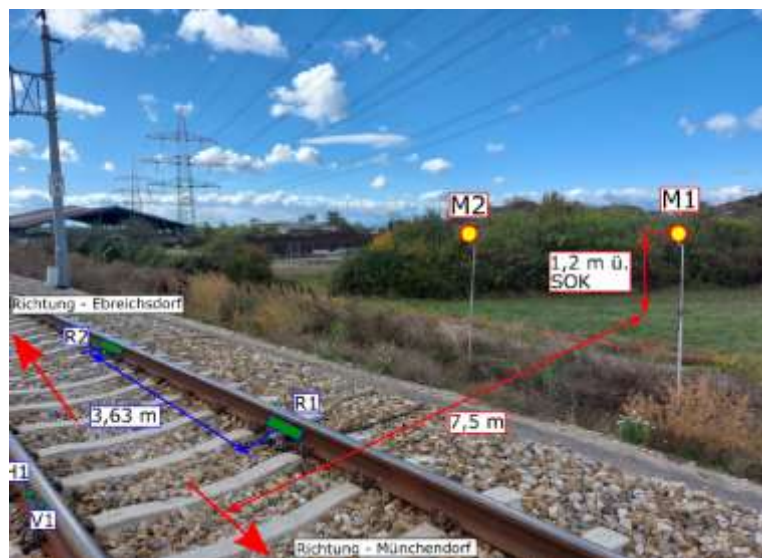
Ergebnisse

- Dt. Wagram (2018)



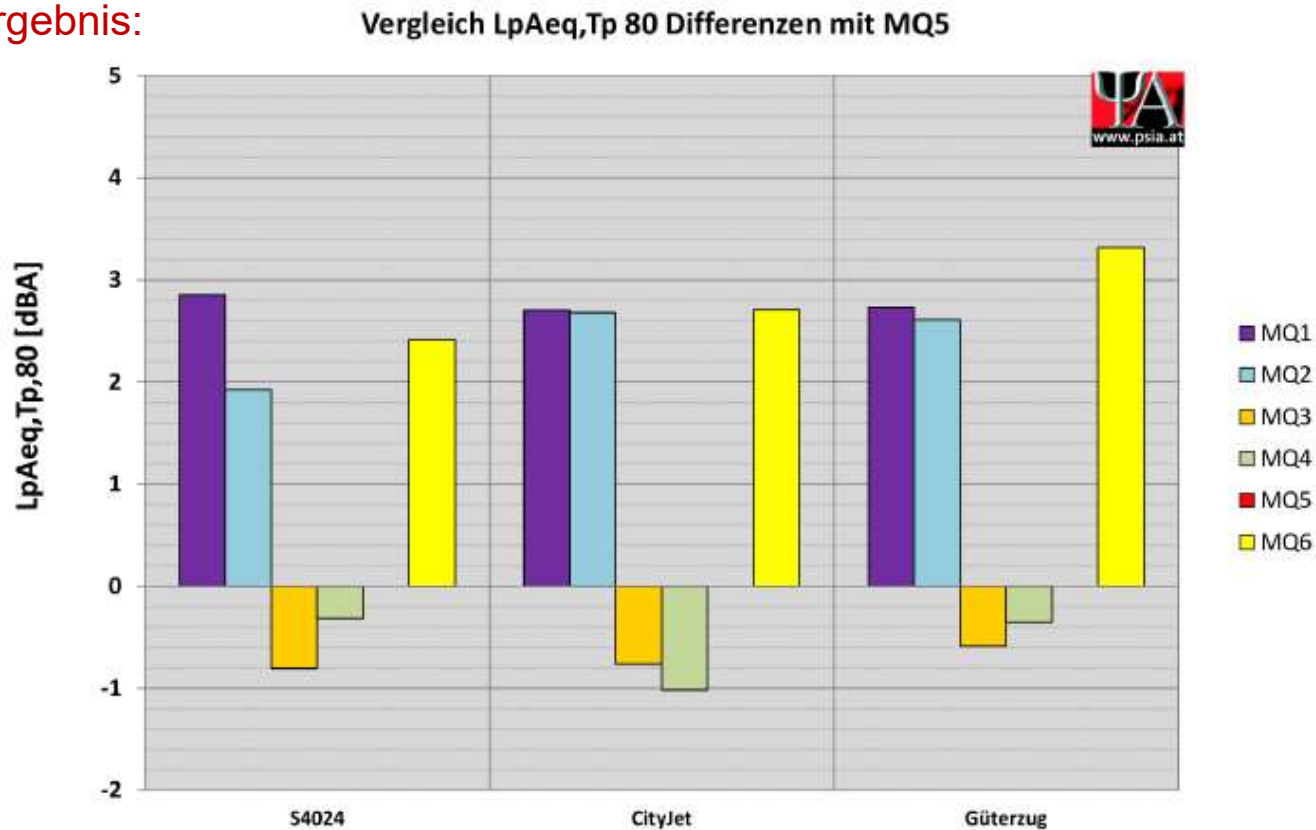
Teststeinbau

- **Pottendorfer Linie (2022)**
 - 7 Abschnitte, je 200m Länge (mind.)
 - ein Abschnitt mit Standard-ZW
 - 6 verschiedenen ZW, 3 verschiedene Hersteller (Gummi- / ZW **F** und Kunststoffprodukte / others)
 - mit stat. Steigungen: 60 (ZW **D**) / 100 (ZW **A**, **C**, **E**, **F**) / 200 (ZW **B**)
 - 2 neue, akustisch verbesserte Produkte



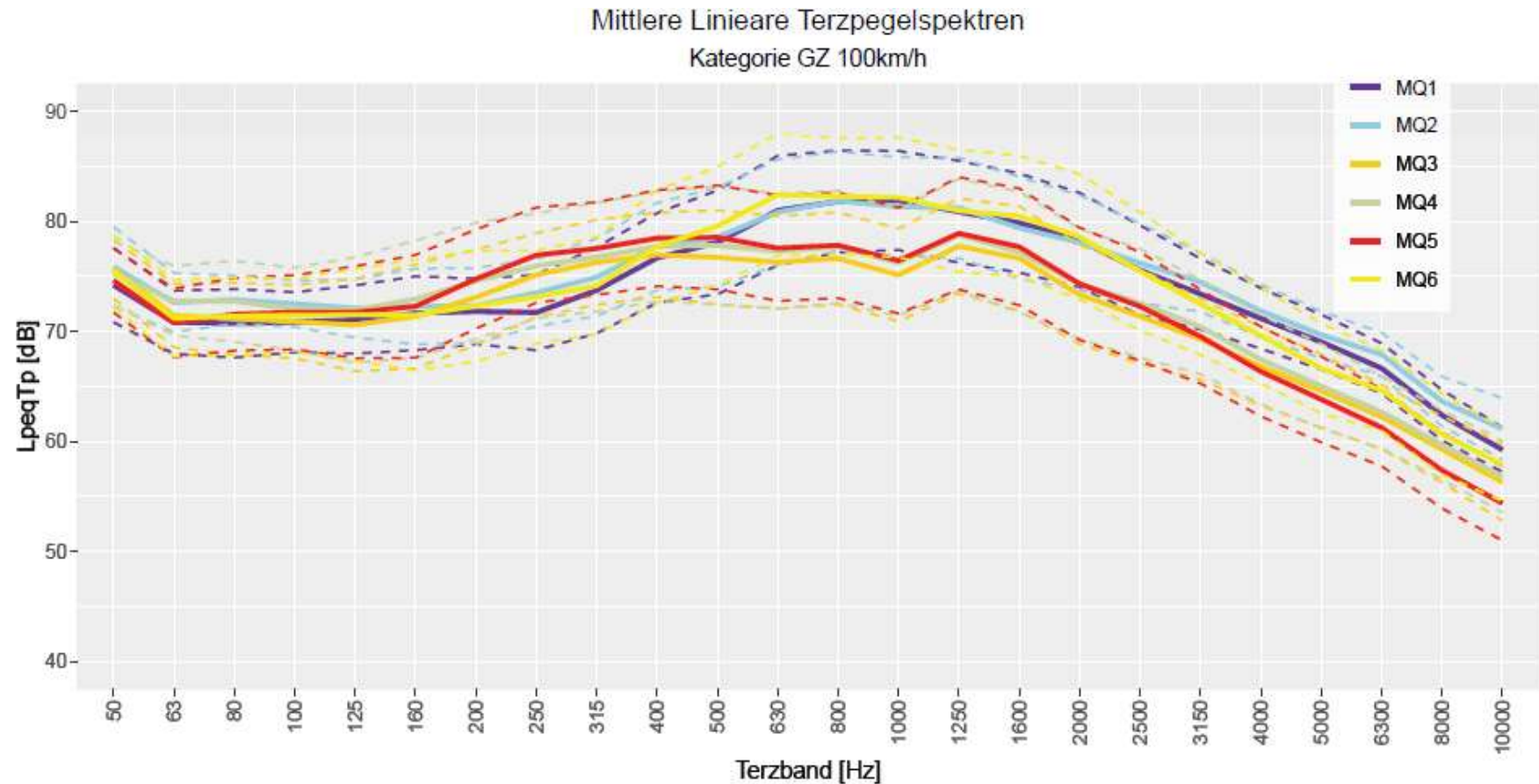
Ergebnisse

- **Pottendorfer Linie (2022)**
 - Akustikmessungen: Dauer 2 Wochen mit je 500-600 Zugvorbeifahrten
 - Zug-Vorbeifahrtspegel $L_{pAeq,Tp,80}$
 - Ergebnis:



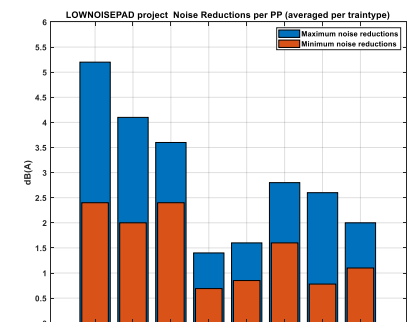
Ergebnisse

- Pottendorfer Linie (2022)



Ergebnisse - Zusammenfassung

- **Versuche im Bereich Dt. Wagram (2018) und auf Pottendorfer Linie (2022)**
 - insgesamt 13 Testabschnitte, 10 verschiedene weiche ZW, ähnliche oberbautechnische Eigenschaften (stat./dyn. Steifigkeit)
 - Messungen von **akustischer Schienenrauheit** (EN 15610) und **akustischer Gleisabklingrate** (EN 15461)
 - Messung von **Schalldruckpegeln** der Zugvorbeifahrten
- **Ergebnisse je nach (weicher) Referenz-ZW mit Variationen bis zu 4dB:**
 - in Dt. Wagram 1,5dB Verbesserung oder 2dB Verschlechterung möglich – Zugtypenabhängig!
 - auf Pottendorfer Linie max. 1dB Verbesserung oder bis 3dB Verschlechterung möglich – Zugtypenabhängig!
- > akustische Gleisabklingrate (TDR) als **Kenngroße** zur Abschätzung der akustischen Eigenschaften
- > **materialtechnische Optimierungen** (herstellerabhängig) in akustischer Hinsicht möglich
- **ABER: Langzeitversuch notwendig** für Erfahrungen jenseits Akustik
- **Anm.:** internationaler Vergleich im Rahmen von UIC-Projekt



Danke für Aufmerksamkeit !



DI Andreas BADER

SAE FWT

Team Oberbau

Tel. +43.(0)664.286 55 07

email. andreas.bader@oebb.at

Günter DINHOBL, Dr

AM SP NE Technik&Anlagen

Fachstrategien Lärm

+43.(0)664.8417071

guenter.dinhobl@oebb.at